

学校编码: 10384

密级_____

学号: X2008230062

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

三维参数化人体动态模拟系统设计与实现

Design and Implementation of 3D Parametric Human

Dynamic Simulation System

张彬彬

指导教师姓名: 姚俊峰 副教授

专 业 名 称: 软件工程

论文提交日期: 2010 年 11 月

论文答辩日期: 2010 年 12 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010 年 11 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

虚拟人技术的实质是对人的模拟，虚拟人运动控制是一个具有挑战性的任务，它涉及到多学科的交叉，在各个领域都有很大的应用价值。本文在实验室已有的三维参数化人体模型的基础上进行运动控制的实现。

本文对运动捕捉数据驱动的虚拟人运动，运动重定向技术、骨骼动画技术以及相关理论进行了深入的学习和研究。并为三维参数化人体模型系统添加了运动控制模块。其中主要工作可以分为两部分：1) 参数化骨骼的建立以及驱动参数化骨骼运动。通过 BVH 文件的数据提取与分析，参数化骨骼的建立以及利用运动捕捉数据驱动参数化骨骼运动三步完成。其中参数化骨骼建立时主要关节点的选取与定位是决定运动模拟效果的主要因素，本文通过对人体运动学，H-Anim 标准以及参数化表皮中人体特征点及特征围度中心点的计算方法的综合考虑，最终确定运动关节选取及位置。本文在这部分工作中还设计了迭代调整关键帧的方法，来对运动模拟效果进行优化。2) 用参数化骨骼驱动参数化表皮运动，最终实现虚拟人的运动。这部分依据刚体动力学原理确定整体行走姿态，并对关节连接处的皮肤使用加权蒙皮算法优化皮肤变形效果。这部分设计了一种骨骼蒙皮中的权值计算方法，使运动中关节处皮肤变形更自然。

关键词：虚拟人运动；BVH；骨骼动画；运动重定向；加权蒙皮

Abstract

The essence of virtual human technology is human simulation. Virtual human motion control is a challenging task. It involves multidisciplinary and has great value in various field. This article implements motion control of a 3D parametric human model based on the existing one in laboratory.

Motion capture data-driven virtual human, motion redirection technique, and the theory of skeletal animation techniques are conducted in-depth study and research in this article. And a motion control module is added to the 3D Parametric Human Model System. The main task including two parts: 1) The establishment and driving motion of parametric skeleton. There are 3 steps: Implement the data extraction and analysis of BVH files, establish the parametric skeleton and implement driving motion with motion capture data. The selection and positioning of main key points during establishing the parametric skeleton is the main factor to determine the effect of the motion simulation. The article finalizes the movement joints according to considering kinesiology, H-Anim standard, and the calculation of both human body feature points and circumference centre points in parametric human skin. The iterative key frame adjustment method is designed to optimize the motion simulation in this part. 2) Achieve virtual human motion by driving parametric skin motion with parametric skeleton. This part determines the overall walking posture according to rigid body dynamics. And optimize skin deformation effect by using weighted skinning algorithm at the joints connected skin. There is a skinned weighting calculation method designed in this part, which makes the skin deformation at the movement joints more natural and reasonable.

Key words: virtual human motion; BVH; skeletal animation; motion retargeting; weighted skin.

目 录

第一章 绪论	1
1.1 虚拟人技术	1
1.2 三维参数化虚拟人体建模介绍	2
1.2.1 参数化人体建模.....	2
1.2.2 参数化表皮建模介绍.....	3
1.3 论文的主要研究内容	8
1.4 论文的结构安排	8
第二章 运动捕捉及运动编辑	11
2.1 运动捕捉技术	11
2.2 运动编辑技术	12
2.2.1 运动编辑概要介绍.....	13
2.2.2 运动重定向.....	14
2.2.3 正向运动学与逆向运动学.....	15
2.2.4 时空约束.....	16
2.3 本章小结	17
第三章 系统设计及相关技术介绍	19
3.1 系统设计	19
3.1.1 系统任务目标.....	19
3.1.2 系统实现方法.....	19
3.2 相关技术介绍	20
3.2.1 BVH文件解析	20
3.2.2 运动重定向技术.....	24
3.2.3 骨骼蒙皮技术.....	29
3.3 本章小结	33
第四章 参数化骨骼运动的实现	35
4.1 运动捕捉数据的提取和分析	35
4.1.1 运动捕捉数据的提取.....	35

4.1.2 四元数表示旋转.....	39
4.2 参数化骨骼的建立	41
4.2.1 依据人体运动学和H-Anim标准确定骨骼结构	41
4.2.2. 根据系统的表皮生成参数确定关节点位置.....	44
4.3 骨骼初始姿态调整	46
4.4 运动关键帧数据迭代调整	48
4.5 本章小结	48
第五章 参数化表皮运动的实现	49
5.1 刚体动力学驱动	49
5.2 加权蒙皮对细节的优化	51
5.3 本章小结	53
第六章 总结与展望	55
6.1 全文总结	55
6.2 展望	55
参考文献	57
致 谢.....	61
附 录.....	63

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Virtual Human Technology	1
1.2 Description of 3D Parametric Virtual Human Modeling.....	2
1.2.1 Parametric Human Modeling.....	2
1.2.2 Parametric Skin Modeling	3
1.3 Main Contents	8
1.4 Structural Arrangements	8
Chapter 2 Motion Capture and Motion Editing.....	11
2.1 Motion Capture Technology	11
2.2 Motion Editing Technology.....	12
2.2.1 Overview of Motion Editing.....	13
2.2.2 Motion Retargeting	14
2.2.3 Forward Kinematics and Inverse Kinematics	15
2.2.4 Spacetime Constraint.....	16
2.3 Summary.....	17
Chapter 3 System Design and Related Technical Description	19
3.1 System Design.....	19
3.1.1 System Mission Objectives.....	19
3.1.2 System Implementation	19
3.2 Related Technology Introduction.....	20
3.2.1 BVH file Parsing	20
3.2.2 Sports Redirect Technology.....	24
3.2.3 Skinned Mesh Technology.....	29
3.3 Summary.....	33
Chapter 4 Implement Parametric Skeleton Motion.....	35
4.1 Extraction and Analysis of Motion Capture Data	35
4.1.1 Extraction of Motion Capture Data.....	35

4.1.2 Quaternion Rotation.....	39
4.2 Establishment of Parametric Skeleton.....	41
4.2.1 Skeletal Structure Follows Kinesiology and H-Anim Standard	41
4.2.2 Determine the Key Points According to the System Skin Parameter ...	44
4.3 Adjust the Skeletal Initial Posture.....	46
4.4 Iterative Adjustment of Motion Key Fram Data	48
4.5 Summary.....	48
Chapter 5 Implement Parametric Skin Motion.....	49
5.1 Rigid Body Dynamics Driving	49
5.2 Optimize the Details with Weighted Skin.....	51
5.3 Summary.....	53
Chapter 6 Conclusion and Prospect.....	55
6.1 Article Conclusion.....	55
6.2 Prospect.....	55
Reference	57
Acknowledgement	61
Appendix.....	63

第一章 绪论

1.1 虚拟人技术

虚拟人 (Virtual Human, VH), 也称为双足关节人 (Bipedal Articulated Figures)^[1], 作为一门新兴学科的实质是对人的模拟。另外, 当虚拟人的行为完全由计算机程序控制时, 我们称之为代理 (Agent), 即是具有自主行为的软件进程。虚拟人的行为也可以由虚拟环境的实际参与者控制, 此时虚拟人被称为真人的化身 (Avatar)^{[2] [3] [4]}。在虚拟环境中, 可以利用虚拟人来模拟真人的行为并对其性能进行评估, 这使得对虚拟人的研究不仅具有较高的理论价值, 更具有广泛的实际应用价值。

针对虚拟人技术的研究大致可以分为虚拟人的几何表达、虚拟人的运动控制、虚拟人的行为表达以及虚拟人的认知表达四个主要方面。前两个主要方面从虚拟人几何和行为特性逼真性的角度进行研究, 而后两个方面主要从虚拟人的社会性和智能化角度进行研究。近年来在虚拟环境中建立并控制虚拟人的各种行为运动是人们十分关注的问题, 对虚拟人运动控制技术的研究也在不断地深入, 由于我们对日常人体运动非常熟悉, 任何运动中的不自然现象都会被觉察到, 因此如何进一步地提高运动的逼真性, 如何提高运动数据的重用性更是人们关注的焦点。

虚拟人运动控制是一个具有挑战性的任务, 它涉及到多学科的交叉, 如动物学、机器人学、运动学、生物力学、动力学等等。在动画、机械工程、医学、军事和空间探索等虚拟环境中, 对虚拟人行为的模型及其性能的评估变得越来越重要, 其应用包括工业环境改造、军事训练、体育医学、空间任务仿真、虚拟角色设置和机械虚拟造型等各个领域。

近年来, 虚拟人技术一直是计算机领域中比较活跃的研究课题, 出现了大量的研究成果, 同时也出现了几个比较著名的研究团队。如: 美国宾夕法尼亚大学人体仿真与建模中心 (Center for Human Modeling and Simulation), 在 Badler 的领导下, 研究包括参数的关键帧技术在基于关节虚拟人的模型中的应用、逆向运动学的应用、人体的平衡研究、脊骨的建模、行走模型的建立、运动捕获的研究、

人体的冲突检测和纠正以及智能运动规划问题^[5]。为 NASA 开发了用于人机工程测试的 JACK 系统, 提供了多种运动交互控制手段, 如: 人体平衡、运动约束、碰撞检测以及路径规划和任务级规划^[6]。近期他们提出了用自然语言控制虚拟人运动的方法——动作参数化表示法 (PAR Parameterized Action Representation)^[7]。由蒙特利尔大学的 Thalmann 夫妇领导的 MIRALab 和虚拟现实实验室也是从事虚拟人技术研究较早的团队, Magnenat-Thalmann 领导的 MIRALab 主要研究手部变形、人体附属物和脸部表情动画。Daniel 领导的虚拟现实实验室主要从事各种运动控制方法的研究^[8]和动画工具的开发。麻省理工学院的媒体实验室主要进行交流行为建模的研究, 在他们开发的 BodyChat 系统, 用户只需输入文字就可以控制自己的化身(Avatar)生成各种交流行为和丰富的表情^[9]。近期提出了一种为动画角色添加学习能力的途径^[10]。

国内学者开展虚拟人技术的研究起步较晚, 目前也取得了一定的工作成果。北京航空航天大学的袁修干进行了人机工程仿真中人体运动的模拟^[11]。哈尔滨工业大学的洪熔炳和天津民航学院的贺怀清进行了实时人体运动控制的研究^[12], 并将路径规划算法用于虚拟人运动控制^[13]。中国科学院的王兆其进行了人体交互行为的研究, 他所在的中国科学院计算技术研究所数字化技术研究室开发的 JointMotion 系统, 使用一个传感器与一只数据手套, 来确定一只手的肩关节、肘关节、腕关节以及各手指的状态, 同时提供了一个基于 VRML 的虚拟人显示工具。在 JointMotion 系统的基础上, 他们开发了中国聋人手语运动合成系统^[14]。浙江大学的庄越挺等提出了一种基于紧身衣和相机定标的运动捕捉方法和运动重定向算法^[15], 计算机辅助图形实验室的潘志庚等进行了虚拟人行为控制技术的研究, 提出了加入情绪参数的行为模型^[16]。

1.2 三维参数化虚拟人体建模介绍

本文在实验室已有的三维参数化人体模型的基础上进行运动控制的实现, 对本项目的完成起了不可忽视的重要作用。

1.2.1 参数化人体建模

参数化人体建模的理论研究重点是参数化的设计在人体建模中的应用和人

体模型的表示。参数化的设计源于计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）技术的应用，其目的是使产品的设计有充分的柔性，并且设计过程模型要能准确地反映设计的实际活动，同时又能够迅速地重构，使产品的设计信息能够重用。人体的个性化建模要解决的问题正是模型的迅速重构与设计信息的重用问题，即对于不同的输入，采用同样的过程，产生不同体型特征的个性化人体模型。

使用三维虚拟建模技术进行人体建模，可将人体信息较真实地展现出来，但一般只具有普遍性，不具有个别性。使用参数化建模的方法就可以将人体的个性化特征显现出来，使得建模效果与真实人体更为相近，更加逼真。

1.2.2 参数化表皮建模介绍

这部分内容为本项目组已有的成果，为本文研究的基础，在这里做简单的介绍，需了解详细内容可参考原文^[17]。本文研究目的就在于使用此参数化数据，对此模型进行运动控制。

原文在对人体建模参数化设计的研究中采用自顶向下的设计思想，通过人体解剖学、人体美学及人体测量学原理建立几何图形的集合约束集，将一组人体关键特征尺寸作为参数使其与几何约束集相关联，并将所有的关联式融入到应用程序中，然后通过对话框以人机交互方式修改参数尺寸，最终由程序根据这些参数及其变化顺序地执行表达式来实现人体的个性化建模。在参数驱动上主要采用规则法，使得参数改变通过规则在不同层次之间进行唯一和即时传递。

参数化曲面建模采用几何约束表达人体模型的形状特征，在建模过程结合人机工程学原理从人体模型的诸多尺寸中提取起决定性作用的参数，如身高、肩宽、胸围、腰围、臀围等。几何参数确定后可以再修改相应的造型特征以满足新的尺寸要求。参数化曲面建模是基于传统的几何建模方法上的更为抽象化的建模方法，它以特征参数表达人体的几何特征^[18-21]。

NURBS方法也就是非均匀有理B样条(Non-Uniform Rational B-Spline)方法。NURBS具备了多种曲面方法的优点，并且还有很多其他的优点^[22]。比如：NURBS可以精确地表示规则曲面，可以把规则曲面和自由曲面统一在一起，用统一的算法处理和用统一的数据进行存储；增加了额外的自由度因子，有利于修改控制曲面形状。同时NURBS具有很强的几何技术并且计算快速稳定。正是由于NURBS的突出功能，国际标准化组织颁布的关于工业产品几何定义的DTEP国际标准把

NURBS方法作为定义产品形状的唯一数学方法。现如今大部分高级商用CAD系统都支持这种功能。NURBS方法是功能非常强大的一个曲线曲面建模方法。

已有参数化虚拟人表皮模型是通过曲面对人体特征点的拟合实现对躯干和四肢的曲面参数化建模，以 NURBS 方法为基础构造人体曲面模型。

原模型从人体解剖学、人体测量学对体表特征的描述入手，结合服装设计关心的特征尺寸，选择和设计服装人体特征的主特征及辅特征。并通过这些特征进行建模所需要的参数设计。根据人体解剖学和人体测量学的原理，个体的体型外貌可以通过体表特征点及关键的围度、高度，宽度描述。

根据对人体特征及服装特征尺寸及关键特征点的分析，在服装人体建模的参数化设计中，要通过服装特征尺寸来实现对人体曲面进行修改，必须建立多层次的特征参数依赖关系和尺寸驱动机制，服装特征参数作为模型的主特征参数，人体测量学的其他特征参数作为辅参数。参数的产生具有一定的次序，即主特征参数产生后，多层的辅特征定位在主特征上，多个辅特征的定位形成人体模型的局部模型，特征之间通过定位尺寸、定位基准发生作用，修改任意一个特征上尺寸，通过定位关系影响与该特征有关联的所有特征，特征定位局部模型发生改变，同时按照特征生成次序构成新的模型，实现尺寸驱动。

参数化表皮模型的参数设计分成四个层次。第一层为输入参数，称为主动参数，为服装设计需要的特征尺寸。第二层次为整体定位驱动。即由主动参数驱动各造型曲线在人体横截面中心的高度和位置。第三层次为局部造型驱动，即各造型曲线形状驱动。在整体定位的基础上，驱动决定各造型曲线形状的参数。如根据胸围长度、年龄、性别计算胸宽、胸厚即超椭圆的长短轴、权值等。第四层次特征点定位驱动，定位人体表面特征点，对模型进行调整。如根据局部造型计算肩胛股点、髂前上棘点等位置。参数驱动层次模型如图 1.1 所示。

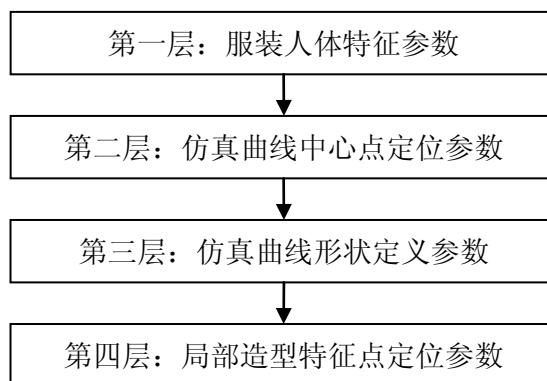


图 1.1 参数驱动层次模型

以上四个层次的驱动用两类技术实现。一类为通过人体比例学、美学驱动，如高度方面的参数，一类是通过对人体测量数据库的数据的分析，应用因子分析、相关分析和回归分析进行推算。

应用曲面建模技术进行人体建模的关键是曲面必须能够反映人体表面的特征，即曲面必须拟合人体表面的特征点。此外曲面必须满足连续和光顺的要求。原文通过分析人体结构和表面的特点，将人体曲面的建模分成几个不同的部分，应用不同的技术实现建模。最后将各曲面进行拼接，实现整个人体的模型。首先用超椭圆或椭圆组合曲线仿真人体各部分横截面，根据人体测量学和人体解剖学的统计规律推测建模所需的其他参数。然后根据参数和各特征点用多个 Nurbs 曲面进行拟合，在对多个 Nurbs 曲面进行拼接后，最终得到个性化的三维人体模型。建模流程图如图 1.2 所示

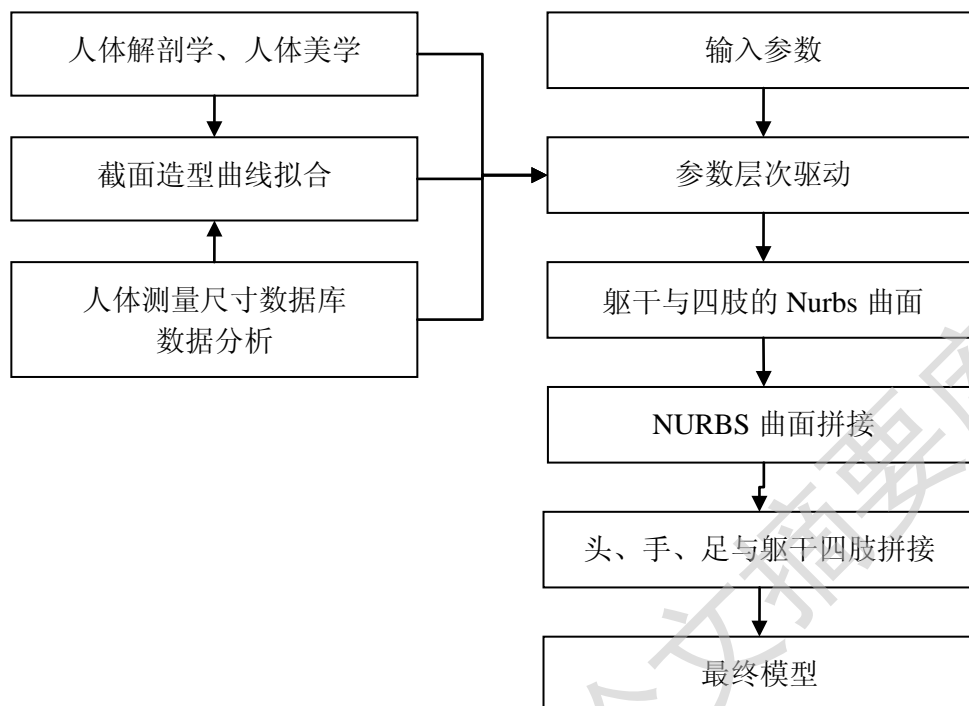


图 1.2 人体建模流程图

最终得到的参数表皮模型如图 1.3 (a) (b) (c) 所示：



(a) 正面观察图

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库